

Note de synthèse Réseaux du futur

Thème 1 – L’informatique au cœur des télécoms

4 octobre 2024

1	Introduction.....	2
2	État des lieux de l'écosystème de fourniture de connectivité des réseaux de demain	2
2.1	L'informatisation des réseaux	2
2.1.1	Introduction des concepts.....	2
2.1.2	Une informatisation des réseaux « prudente »	4
2.1.3	Une virtualisation et mise « en nuage » des réseaux par étapes ?.....	5
2.2	L'évolution de la chaîne de valeur des infrastructures de connectivité	7
2.3	Les enjeux et les problématiques liés à cette informatisation.....	8
2.3.1	Des nouvelles compétences à acquérir	8
2.3.2	Des investissements importants dans des nouvelles infrastructures	8
2.3.3	Des enjeux de sécurité et de résilience.....	9
2.3.4	Des enjeux environnementaux à considérer.....	10
3	Les nouveaux services adressés au grand public portés par les réseaux de demain.....	11
3.1	L'informatisation des réseaux permet-elle l'émergence de nouveaux services ?	11
3.2	L'ouverture des réseaux, une nouvelle source de valeur pour les réseaux ?	11
4	L'évolution des offres de connectivité à destination des entreprises	13
4.1	Les offres de connectivité mobile à usage professionnel	13
4.2	L'émergence d'offres « groupées » : des services IT intégrés aux offres de connectivité....	14
4.2.1	Une valeur qui se déporte vers des offres groupées	14
4.2.2	Qui propose ces offres groupées ?.....	14
5	Conclusion	16

1 Introduction

Les perspectives d'évolutions techniques des réseaux tendent à rendre ceux-ci plus agiles et flexibles, à même de répondre à des besoins de performances élevées en capacité, en latence et en résilience, et ouvrir des possibilités accrues de « personnalisation ». Les services de demain pourront solliciter ces caractéristiques toujours plus pointues, sous la contrainte de rester économiquement rentables.

L'informatisation des télécoms, qui consiste par exemple à remplacer des équipements dédiés à une fonction dans le réseau par du matériel informatique générique sur lequel tournent différents logiciels, est une tendance qui, bien qu'initiée timidement depuis 2012, s'observe aujourd'hui de plus en plus et qui s'inscrit dans cette lignée. Cette transformation des fournisseurs de services de communications est désormais connue sous l'appellation des *Telcos* vers les *Techcos* !

La présente note s'inscrit ainsi dans le prolongement de précédentes notes publiées dans le cadre de la démarche « réseaux du futur »¹, notamment la note « virtualisation des réseaux : architectures agiles » et la note « l'intelligence artificielle dans les réseaux de télécommunications »², qui ont pour objet de dresser un état des lieux et s'interroger sur les impacts possibles de ces tendances sur les services et les marchés.

L'informatisation des télécoms amène les acteurs des secteurs des télécoms et de l'informatique à investir au-delà de leur périmètre historique et à interagir entre eux dans différentes configurations (relations client/fournisseur, partenariats, concurrence sur un même marché, etc.). En conséquence, des changements notables apparaissent dans l'architecture et les composants d'un réseau ou bien encore dans la façon d'opérer un réseau avec des nouveaux enjeux de sécurité, de montée en compétence et de concurrence. Cette composante sera explorée dans une première partie.

Par ailleurs, cette *informatisation* peut jouer un rôle de catalyseur dans la capacité des réseaux à permettre l'éclosion de nouveaux usages et le développement de nouveaux services à destination des utilisateurs finals du marché grand public. La liste des possibles cas d'usage futurs et les éventuelles nouvelles sources de revenus qui sont identifiées par les acteurs de la connectivité, sera l'objet de la seconde partie.

Enfin, *l'informatisation des télécoms* contribue à l'émergence de nouveaux services, d'offres dédiées aux entreprises mais aussi de nouveaux acteurs, dans le domaine de la connectivité mobile et de l'IT (notamment du *cloud*). La troisième partie abordera le positionnement que les différents acteurs pourraient adopter sur ces offres à destination des entreprises.

2 État des lieux de l'écosystème de fourniture de connectivité des réseaux de demain

2.1 L'informatisation des réseaux

2.1.1 Introduction des concepts

L'informatisation des réseaux combine plusieurs évolutions technologiques issues du monde de l'informatique.

Une première tendance que l'on observe est la **virtualisation des fonctions réseaux**³. La virtualisation permet le déploiement de ces fonctions sous la forme de logiciels en les faisant porter par du matériel

¹ [Annexe 1 – Note « Réseau du futur » de 2019 sur la virtualisation des réseaux](#)

² [Annexe 2 – Note « Réseau du futur » de 2019 sur l'intelligence artificielle](#)

³ Un réseau peut être décomposé en plusieurs fonctions réseaux élémentaires. Ces fonctions peuvent être virtualisées et portées sur du matériel générique.

informatique générique. Elle apporte ainsi davantage de flexibilité et d'agilité dans la gestion du réseau.

Une deuxième tendance concerne la mise « en nuage » ou **cloudification** des fonctions réseaux, qui permet d'offrir un accès à des ressources « virtuellement » illimitées pour faciliter les passages à l'échelle et répondre à des besoins capacitaires fluctuants. Le déploiement des fonctions réseaux dans le cloud offre ainsi aux opérateurs de télécommunications les mêmes atouts qu'aux fournisseurs de services numériques : un accès instantané et à la demande à des ressources mutualisées. Ces ressources peuvent reposer :

- sur un **cloud public**, c'est-à-dire qu'elles sont partagées dans un même centre de données avec d'autres applications, qui ne sont pas forcément du même opérateur et qui ne sont pas forcément des fonctions *télécoms* ;
- et/ou sur un **cloud privé**, c'est-à-dire un centre de données qui appartient à l'opérateur du réseau et qui n'est généralement pas partagé avec des applications autres que celles destinées à faire fonctionner le réseau ;
- sur un **cloud hybride**, c'est-à-dire que l'opérateur utilise des ressources qui sont en partie sur un *cloud* privé, et en partie sur un *cloud* public. Cette configuration offre les avantages du cloud privé pour porter certaines fonctions et du *cloud* public pour en porter d'autres ;
- sur du **multi-cloud**, c'est-à-dire que l'opérateur exploite les ressources de plusieurs *cloud* publics. Cela nécessite un certain niveau d'interopérabilité entre les différents *cloud*, notamment si les fonctions qui y sont portées sont de nature à communiquer entre elles ou dans le cas où ces fonctions sont amenées à être portées alternativement sur ces différents *cloud*.

Par ailleurs, les applications de **l'intelligence artificielle** au fonctionnement des réseaux pourraient se multiplier. En effet, la virtualisation des réseaux augmente les possibilités d'intégration de « briques d'IA » afin de programmer, d'optimiser et d'automatiser certaines tâches et certaines fonctions, notamment en matière de supervision et d'anticipation des charges. En outre, le recours à l'IA pourrait devenir critique aux prochaines étapes de l'informatisation des réseaux.

Enfin, **l'edge computing**, qui consiste à localiser certaines infrastructures en périphérie du réseau, au plus proche du client et au plus proche des sources de génération de données, pourrait répondre aux nouvelles exigences de latence et de confidentialité du traitement des données. Elle pourrait, par ailleurs, simplifier le transit des données en désengorgeant en partie le réseau de collecte (*backhaul*).

Ces différentes tendances d'évolution technologique issues du monde de l'informatique favoriseraient une plus grande ouverture des interfaces des fonctions de réseaux, ainsi que de la conception des différentes briques du réseau, à l'instar du partage des codes sources qui s'observe en informatique. En outre, **l'ouverture et l'interopérabilité des interfaces** favoriserait l'émergence de nouveaux types de services offerts par des acteurs tiers, dont les briques logicielles viendraient s'interconnecter à différents endroits du réseau. De même, un accès ouvert à la conception des briques de fonctions réseaux pourrait permettre l'éclosion de nouvelles fonctionnalités au sein même du réseau ainsi que leur amélioration continue.

L'informatisation des réseaux recouvre donc plusieurs tendances qui n'ont pas forcément vocation à être déployées simultanément et dans toutes les parties constituantes d'un réseau de télécommunication. La section 2.1.2 présente la stratégie globale d'informatisation observée chez les opérateurs et la section 2.1.3 explique plus en détail comment les différentes parties des réseaux évoluent selon ces tendances.

2.1.2 Une informatisation des réseaux « prudente »

Des échanges avec les acteurs et des rapports d'analyse existants sur le sujet, il ressort que les opérateurs déploient de façon progressive ces innovations et qu'il n'est pas essentiel pour eux d'être le premier à disposer d'un réseau totalement « informatisé » sur leur marché national.

La stratégie prudente d'une avancée progressive vers une informatisation des réseaux, tant du point de vue de la mise en œuvre de toutes les technologies issues de l'informatique que des parties du réseau qui sont concernées, semble être privilégiée par les opérateurs existants, même si plusieurs grands opérateurs sont impliqués dans des projets visant à accélérer l'informatisation des réseaux (Open-Ran Alliance⁴, Sylva⁵) et dans des tests de réseaux virtualisés à plus ou moins grande échelle. Il faut néanmoins noter que quelques grands opérateurs bien établis comme AT&T aux Etats-Unis, Telus au Canada ou encore NTT Docomo au Japon, déploient déjà des solutions virtualisées et mises en nuage à grande échelle dans leur réseau commercial.

A l'inverse, certains opérateurs nouveaux entrants (« *greenfields* ») comme Dish aux Etats-Unis, 1&1 en Allemagne ou Rakuten au Japon ont fait le choix de déployer directement un réseau entièrement virtualisé. Ces acteurs capitalisent aujourd'hui sur leur retour d'expérience pour proposer des services de conseils et d'intégration aux autres opérateurs qui souhaitent le faire (ex. Rakuten Symphony).

L'approche « **prudente** » la plus courante du côté des opérateurs établis s'explique notamment par :

- un **patrimoine d'infrastructure matérielle préexistant qui ne peut être « informatisé » et qui n'est pas obsolète**, ce qui constitue un frein à l'informatisation des réseaux ;
- un **retour sur investissement encore incertain** face à des coûts d'intégration aujourd'hui assez élevés, notamment en comparaison de solutions déjà intégrées et disponibles ;
- des **méthodes d'intégration et de tests** des solutions virtualisées et surtout *conteneurisées* encore émergentes ;
- la **maturité et l'efficacité** de ces solutions soulève des questions auprès de certains acteurs, qui identifient toutefois la transition vers celles-ci comme une potentielle opportunité à terme ;
- le besoin de **monter en compétence sur des nouveaux concepts** à maîtriser.

Il ressort des échanges que c'est notamment en s'adaptant à l'offre des solutions offertes par le marché des équipements constitutifs des réseaux de télécommunications, nativement de plus en plus virtualisées et informatisées, que les opérateurs intègrent cette tendance, et non pas par une réelle motivation de rentabilisation rapide de ces solutions novatrices. D'après les opérateurs, ces premiers déploiements présentent encore à date des écarts entre les promesses liées à l'informatisation des réseaux et la réalité des déploiements (consommation énergétique plus importante, performances inférieures sous certains aspects, intégration compliquée). La stratégie de suiveur avisé consistant à observer ce qui se fait ailleurs dans un premier temps pourrait donc s'avérer payante.

Néanmoins, deux facteurs d'accélération de l'informatisation des réseaux peuvent être identifiés à ce stade :

- d'une part, **les équipementiers** proposent des solutions de plus en plus virtualisées et « *en nuage* » plutôt que des solutions monolithiques s'appuyant sur des équipements dédiés qui, d'après les opérateurs, présentent néanmoins toujours un véritable intérêt

⁴ Open Ran Alliance : initiative fondée en 2018 par AT&T, China Mobile, Deutsche Telekom, NTT Docomo et Orange pour définir un réseau d'accès radio « informatisé » <https://www.o-ran.org/>

⁵ Sylva : association d'opérateurs et de fournisseurs d'infrastructure pour définir une architecture de réseau virtualisé, sous l'égide de la Linux fondation <https://sylvaproject.org/>

notamment pour leur simplicité d'intégration au reste du réseau, leur fiabilité éprouvée et le nombre restreint d'interlocuteurs nécessaire pour déployer et assurer l'opération d'un réseau télécom ;

- d'autre part, le **déploiement de la 5G Stand Alone**, dont la normalisation du cœur de réseau reprend les concepts hérités du monde de l'informatique, est un facteur d'accélération de l'informatisation des réseaux mobile.

2.1.3 Une virtualisation et mise « en nuage » des réseaux par étapes ?

Aujourd'hui, selon leur stratégie, **les opérateurs ne sont donc pas tous au même niveau d'avancement⁶ dans l'adoption de ces nouvelles techniques de construction des réseaux, ni dans le choix des technologies à mettre en place pour les différentes parties des réseaux.**

En effet, si les différentes fonctions qui composent les réseaux de télécommunication sont déjà disponibles à des stades de virtualisation relativement avancés, le portage de ces fonctions sur du *cloud* est une étape supplémentaire qui ouvre d'autres choix stratégique d'importance : privilégier le *cloud* privé ou le *cloud* public. La *cloudification* des réseaux est donc aujourd'hui à des stades d'avancement variables selon les différentes fonctions qui les composent :

- **Les fonctions supports** (*OSS – Operation Support System* et *BSS – Business Support System*), qui permettent notamment la supervision du réseau, la gestion et la facturation des clients, constituent les premières briques qui ont été portées sur le *cloud*, que ce soit du *cloud* public ou du *cloud* privé. Ces fonctions, moins critiques pour le fonctionnement des réseaux, sont plus faciles à faire évoluer vers du *cloud*.
- **La fonction *backbone***, qui permet l'acheminement des données sur le territoire, est composée d'équipements qui demeurent majoritairement physiques et dédiés pour garantir de meilleures performances. La fonction *backbone* pourrait également connaître des évolutions par l'utilisation de *Software Defined Networks* ci-après « SDN ». Pour mémoire, les enjeux de qualité de service (redondance, priorisation des flux) et la complexification des topologies des plus grands réseaux d'opérateurs et d'entreprises ont favorisé le développement des réseaux qui sont configurés par logiciel, cela correspond au SDN . Les évolutions liées au SDN ne sont pas nécessairement de l'ordre de la virtualisation ou *cloudification* des équipements, qui pour des raisons de performance restent des équipements dédiés, néanmoins ce sont les manières d'opérer les réseaux SDN qui s'inspirent des techniques de l'informatisation. Toutefois, des acteurs tels que les *hyperscalers* pourraient investir dans l'exploitation de certaines de leurs infrastructures fibre optique et de leurs centres de données pour proposer de nouvelles offres de connectivité *backbone* s'appuyant sur des fonctions réseaux de plus en plus virtualisées, mais également des tarifications en fonction de l'utilisation, inspirées du *cloud*.
- **Les fonctions du cœur de réseau**, qui assurent la gestion des réseaux d'accès fixes et mobiles, sont de plus en plus virtualisé et *cloudifié* par les différents opérateurs, notamment pour permettre le déploiement de la 5G *Standalone*. Toutefois, pour la plupart des opérateurs – et c'est le cas en France - le *cloud* public n'est pas encore considéré comme une solution pour porter le cœur de réseau national. Ce choix est motivé par plusieurs facteurs :
 - La volonté de **garder la main sur les infrastructures**, notamment sur les infrastructures critiques, afin notamment de rester maître de la qualité du réseau (disponibilité,

⁶ Selon Capgemini, le niveau de mise « en nuage » globale des réseaux atteint déjà 31% dans le monde et pourrait même représenter 46% d'ici quatre ans : Capgemini Research Institute 2023 : "Networks on *cloud* : a clear advantage" (<https://prod.ucwe.capgemini.com/wp-content/uploads/2023/02/Final-Web-Version-Report-Cloudification-of-Networks.pdf>)

performances, débits, temps de redémarrage...) et de garder une capacité de différenciation.

- Les solutions désagrégées où l'équipementier fournit des briques logicielles portées sur du *cloud* public, présentent à ce stade des risques de sécurité plus importants au regard des exigences qui pèsent actuellement sur les réseaux. Ces solutions nécessitent des validations *ad hoc* **d'un point de vue cybersécurité** pour un réseau national.
- La **flexibilité de capacité offerte notamment par le *cloud* public n'apparaît pas essentielle aux yeux des opérateurs pour les fonctions portées par le cœur d'un réseau national** et à ce titre l'intérêt d'un *cloud* public reste limité (en général quelques serveurs restent suffisants pour porter ces fonctions).

Néanmoins, certains opérateurs situés à l'étranger, notamment des nouveaux entrants, ont préféré se tourner dès le début vers des cœurs de réseau hébergés sur un *cloud* public. Cette démarche s'inscrit dans la recherche d'une flexibilité totale et d'un passage à l'échelle rapide des réseaux. Elle s'inscrit également dans la recherche d'une mutualisation de tous les éléments du réseau au sein d'un seul et même *cloud*. Il n'est donc pas exclu que, sous réserve de prise en compte des enjeux de sécurité, le passage sur du *cloud* public se généralise dans le cas où une telle tendance s'affirmerait pour les autres composantes des réseaux.

- **Le réseau d'accès mobile** fait l'objet de perspectives de premiers déploiements commerciaux d'équipements virtualisés, notamment en Europe⁷. Il ressort des échanges que l'horizon temporel de tels déploiements en France est peu clair et pourrait ne pas advenir avant les prochains cycles d'investissement dans les réseaux. Les avantages de la virtualisation de l'accès radio résident dans la flexibilité et la rapidité d'évolution que cela peut offrir aux opérateurs : une meilleure gestion des capacités cellulaires (mutualisation des calculs entre plusieurs cellules radio), une innovation plus riche au sein d'un écosystème plus nombreux, des gains à attendre en CAPEX et en OPEX⁸. A ce stade, le passage au cloud reste encore plus lointain et dépend dans une certaine mesure de la disponibilité de solution d'hébergement au plus proche des antennes (*Edge Computing*).
- **Les déploiements de serveurs *Edge* intégrant des fonctions réseaux (MEC : Multi-Access Edge Computing⁹)**. Le déploiement de ces solutions se ferait progressivement, d'après les opérateurs, dans un premier temps à une échelle seulement régionale pour évoluer par la suite vers une granularité plus capillaire. À ce stade, il y a encore très peu d'exemple concret en France et les calendriers de mise en œuvre à grande échelle ne sont pas définis. A l'avenir, les réseaux et les services de connectivité pourraient pourtant s'appuyer de plus en plus sur de telles ressources décentralisées à « l'edge » et la disponibilité de capacités de calcul suffisantes à l'échelon local pourrait devenir essentielle à la performance des réseaux. Dans ce contexte, l'accès à des locaux physiques susceptibles d'héberger les serveurs correspondants pourrait devenir un enjeu supplémentaire pour le déploiement des réseaux.
- **Le réseau d'accès fixe et les réseaux internes des entreprises (Wi-Fi et filaire)**. De la même façon que pour la fonction *backbone*, les équipements d'accès restent par nature des équipements dédiés et physiques, mais la façon d'opérer des équipements d'accès aux réseaux

⁷ Deutsche Telekom déploie de telles solutions en Allemagne, Vodafone et Orange déploient en Roumanie

⁸ Les CAPEX (*capital expenditure*) sont les dépenses d'investissement et les OPEX (*operational expenditure*) sont les dépenses d'exploitation

⁹ Le Multi-Access Edge Computing est un concept standardisé par l'ETSI, qui vise à mutualiser via des interfaces et des protocoles bien définis les services informatiques et les capacités *cloud* (notamment les fonctions réseaux) au sein des mêmes infrastructures situées sur les serveurs dits « edge » au plus proche des utilisateurs.

fixes d'entreprises pourrait s'inspirer des techniques de l'informatisation, comme par exemple les architectures SD-WAN¹⁰. Toutefois, cela ne devrait pas bouleverser les technologies mises en œuvre pour accéder au réseau. À cet égard, ce thème ne sera donc pas abordé dans le cadre de la présente note.

2.2 L'évolution de la chaîne de valeur des infrastructures de connectivité

Alors que le déploiement des réseaux est aujourd'hui le fait d'un nombre restreint d'acteurs, avec des relations clients/fournisseurs bien établies, **l'informatisation des réseaux fait apparaître de nombreuses nouvelles catégories d'acteurs sous différentes dimensions.**

Cette multitude d'acteurs pourrait permettre plus d'innovation, et ainsi de la création de valeur à différents niveaux de la chaîne de valeur – valeur qui reste à répartir entre tous ces acteurs. En contrepartie, la fragmentation des solutions et de l'écosystème rend la concurrence sur chaque sous-partie plus intense. La fourniture de solutions complètes constituées d'éléments fournis par divers acteurs nécessiterait alors la création de nouveaux partenariats au sein de l'écosystème.

Ces partenariats seraient alors nécessaires notamment pour assurer l'interopérabilité des différentes composantes des solutions informatisées/virtualisées et pour garantir leur fiabilité en performance et en sécurité. À ce jour, les standards n'apparaissent pas suffisants pour garantir ces différentes performances sans une phase d'intégration conséquente des solutions déployées dans les réseaux. Ces savoir-faire d'intégration sont nouveaux pour le monde des *télécoms*, mais beaucoup moins pour ceux de l'informatique.

Le marché de l'intégration des solutions télécoms informatisées est en cours d'évolution, les opérateurs internalisant en partie ces nouvelles méthodes. Les fournisseurs historiques et les acteurs de l'informatique, notamment les *hyperscalers*, se distinguent car ils ont accumulé un savoir-faire depuis des années, les premiers avec des compétences issues du monde des *télécoms*, les seconds avec celles issues du monde de l'informatique en nuage.

Cette tendance à la désagrégation verticale pourrait soulever à plusieurs niveaux de la chaîne de valeur des enjeux de mesure de la qualité de service des infrastructures ou des solutions virtualisées auxquelles peuvent avoir accès les acteurs situés en aval.

D'après plusieurs acteurs interrogés, au-delà des enjeux d'intégration, une nouvelle dépendance à du matériel spécifique (processeurs, carte serveur particulière, puces d'accélération matérielle) verrait potentiellement le jour, certaines performances nécessaires aux réseaux ne pouvant finalement pas se satisfaire de matériel générique et multifournisseurs. Ceci est d'autant plus vrai que l'informatisation se rapproche de la capillarité du réseau, notamment mobile. La virtualisation du RAN où les exigences de performance (en termes de latence et de débit) sont plus prégnantes illustre cette difficulté : plusieurs solutions de virtualisation des stations de base radio sont portées sur du matériel équipé de cartes accélératrices personnalisées qui traitent des calculs très spécifiques pour lesquels les processeurs classiques ne sont pas adaptés¹¹ ; le portage sur du matériel générique entraîne des surconsommations et des baisses de performances.

Par ailleurs, alimentées par des intérêts géopolitiques qui peuvent différer, les différences d'approche industrielle entre différentes régions du monde sont susceptibles d'entraîner une divergence dans l'élaboration et le choix des normes technologiques utilisées pour le déploiement des réseaux¹²,

¹⁰ Software Defined Wide Area Network, application des SDN aux accès au réseau étendu.

¹¹ Les processeurs classiques dits GPP (General Purpose Processors) équipant les serveurs génériques pourraient supporter certaines fonctionnalités moins contraignantes de la radio virtualisée.

¹² Un tel phénomène s'est déjà produit par exemple dans le cas de la 3G, qui a été développée à partir de différents standards (CDMA aux Etats-Unis, UMTS en Europe et TD-SCDMA pour la Chine).

notamment celles relatives à l'informatisation des réseaux (comme par exemple la spécification de l'open-ran). Cela pourrait avoir des répercussions sur les délais de disponibilité à large échelle des équipements, sur la compatibilité des matériels, voire sur l'interopérabilité des réseaux.

2.3 Les enjeux et les problématiques liés à cette informatisation

2.3.1 Des nouvelles compétences à acquérir

Les évolutions structurelles des réseaux décrites ci-dessus amènent les acteurs de la fourniture de connectivité, et notamment les opérateurs, à des changements d'organisation à plusieurs niveaux. C'est le principal enjeu qui ressort des entretiens qui ont été menés. Des compétences sont à développer en matière de choix des solutions de fourniture de connectivité, de négociation partenariale (quelle brique développer en interne, quelle brique récupérer chez des partenaires, choix des partenaires), d'intégration des briques, éventuellement de développement des briques. Par ailleurs, des évolutions, également sont à apporter dans les méthodes de tests, de maintenance, et dans la façon d'opérer les réseaux qui deviennent une infrastructure définie par le code, déployée automatiquement (*infrastructure as code*, IaC) et mobilisent des méthodologies héritées du monde de l'informatique : *DevSecOps*, CI/CD¹³. Ces évolutions opérationnelles sont notamment mises en œuvre dans le cadre des réseaux définis par le logiciel (SDN).

Des méthodes de travail co-construites entre opérateurs, fournisseurs de *cloud* et intégrateurs facilitent le choix des architectures et des configurations. La maîtrise de l'intégration et de l'exploitation de briques télécoms informatisées nécessite un haut niveau d'expertise dans chacun des secteurs de l'informatique et des télécoms. Il y a donc un enjeu de recrutement intersectoriel et de formation croisée entre les acteurs de ces secteurs.

En fonction des choix de positionnement (développement, intégration, opération, etc.) des acteurs de la connectivité de demain et de leur cœur de métier historique, ceux-ci devront mettre en place des stratégies de montée en compétence internes et/ou en relation avec les autres acteurs de l'écosystème. D'ailleurs, les équipes existantes bien qu'expertes dans leur domaine historique, vont devoir monter en compétence sur des techniques nouvelles issues du monde de l'informatique ; ce qui appelle notamment à : des formations internes, des rapprochements entre équipes IT et télécoms, et des recrutements externes.

L'agilité des différents acteurs à développer et à entretenir un haut niveau de maîtrise de ces technologies, notamment en mettant en œuvre des stratégies de recrutement et de formation adaptées, apparaît ainsi comme un enjeu de premier plan et peut d'ailleurs être un frein à une adoption plus rapide de ces technologies.

2.3.2 Des investissements importants dans des nouvelles infrastructures

La virtualisation, notamment celle qui ira au-delà du cœur de réseau, implique une transformation des opérateurs qui pourrait entraîner de lourds investissements.

La virtualisation des réseaux suppose des investissements importants en infrastructures (infrastructures *cloud*, des serveurs et des matériels de virtualisation) mais aussi des coûts de migration pour les opérateurs ainsi que des coûts de formation du personnel. Par ailleurs, les premiers déploiements de solutions totalement virtualisées montrent une augmentation significative de la consommation énergétique et donc des dépenses d'exploitation associées.

¹³ DevSecOps et CI/CD (Continuous Integration/ Continuous Delivery) sont des principes de développement logiciel et mise en production agile, qui assurent également un haut niveau de cybersécurité des applications.

Néanmoins, cette virtualisation pourrait être facilitée par des acteurs proposant des solutions NaaS¹⁴ déjà pré-intégrées, commercialisées selon un mode *Pay As You Use*. Les coûts d'intégration deviennent alors des coûts variables, qui permettent aux acteurs de diminuer leurs coûts d'investissements en les adaptant à leurs besoins. Néanmoins, l'évolution des prix des licences associés à l'utilisation de ces solutions pourrait être de nature à contrebalancer les économies réalisées. Un rapport de la Commission européenne¹⁵ évalue la baisse de CAPEX et d'OPEX liée à la virtualisation du cœur de réseau entre 3,7% et 5%.

De façon générale, de par les investissements qu'elle requiert, **la virtualisation du réseau semble avoir vocation à s'inscrire dans les cycles d'investissement liés au déploiement de nouvelles technologies ou au renouvellement des équipements.**

2.3.3 Des enjeux de sécurité et de résilience

Les échanges menés ont mis en avant des nouvelles problématiques liées à la virtualisation et à la mise en nuage qui concernent la sécurité des réseaux, leur résilience et la gestion des données :

- **la criticité du service télécom** : les exigences en temps de rétablissement attendues sur des réseaux nationaux ne sont pas garanties sur du *cloud* public à ce jour (notamment lorsque cette *cloudification* s'accompagne d'une mutualisation des ressources et d'une centralisation des fonctions réseaux) ;
- **la confidentialité des données** : une partie des données est transportée sans protocole de chiffrement dans le réseau (notamment au niveau de l'accès réseau). Sans protection supplémentaires, les données utilisateurs pourraient dès lors être accessibles aux acteurs intervenant à ce niveau du réseau ;
- **les interfaces ouvertes** : la démultiplication des briques fonctionnelles issues de différents acteurs, les interfaces ouvertes aux développeurs d'application sont de nature à augmenter les points de faiblesse de réseaux et nécessitent des efforts supplémentaires pour valider la sécurité de ces interfaces et des briques qui s'y connectent.

L'écosystème des parties prenantes ainsi que les instances de régulation mènent des travaux pour répondre à ces exigences. Par exemple, si le standard SecNumCloud¹⁶ édicte des règles d'isolation des données entre deux clients, ces règles ne préjugent pas de l'accès aux données par l'hébergeur ; il pourrait donc s'avérer insuffisant pour garantir le respect des exigences sécuritaires.

En ce qui concerne la résilience, en cas d'incident lourd sur le réseau, la vision de bout-en-bout est rendue plus délicate par l'ajout des différentes couches de virtualisation, ce qui complexifie l'analyse des dysfonctionnements et leur réparation.

Enfin, la mise en nuage des fonctions réseaux est susceptible de soulever des enjeux de souveraineté dans la mesure où celles-ci pourraient entrer le champ d'application de réglementations étrangères. Ces enjeux n'ont pas été approfondis dans le cadre de cette note.

¹⁴ Network As A Service

¹⁵ Implications of the emerging technologies Software-Defined Networking and Network Function Virtualisation on the future Telecommunications Landscape (https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=44563)

¹⁶ SecNumCloud : Élaboré par l'Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information (ANSSI), le référentiel SecNumCloud propose un ensemble de règles de sécurité à suivre garantissant un haut niveau d'exigence tant du point de vue technique, qu'opérationnel ou juridique. D'une part, les prestataires proposant une offre d'informatique en nuage (*cloud*) doivent présenter une bonne hygiène informatique, d'autre part, les données doivent être protégées en conformité avec le droit européen

2.3.4 Des enjeux environnementaux à considérer

Cette informatisation soulève également des enjeux relatifs à son impact environnemental pour les acteurs qui déploient des solutions. En outre, la consommation énergétique peut être un enjeu de coût pour les opérateurs dans un contexte de fluctuation des coûts de l'électricité. Cela constitue également une préoccupation pour les utilisateurs finals.

Il ressort des échanges, que l'impact de l'informatisation des réseaux est une problématique investiguée par les acteurs de la connectivité, mais qu'aucune tendance claire ne transparaît :

- d'un côté le cloud public, grâce à la mutualisation des fonctions réseaux pourrait être un levier de baisse significative de la consommation énergétique des réseaux¹⁷ ;
- de l'autre, les premiers déploiements de solutions télécoms s'appuyant sur du matériel générique (à base d'*open-ran* notamment) se montrent aujourd'hui plus énergivores que leurs équivalents dédiés et optimisés.

Il s'agit donc d'une problématique qui pourraient être davantage investiguées au fur et à mesure que les solutions deviennent plus matures.

¹⁷ Study on the trends and cloudification, virtualization, and softwarization in telecommunications, rapport préparé par PLUM Consulting et Stratix pour le Berc, Décembre 2023 (https://www.berc.europa.eu/system/files/2023-12/BoR%20%2823%29%20208_%20Study_claudification%20virtualisation%20and%20softwarisation.pdf)

3 Les nouveaux services adressés au grand public portés par les réseaux de demain

Les échanges avec les acteurs ont fait ressortir que la flexibilité apportée par les évolutions liées à l'informatisation vise surtout à faire baisser les coûts d'exploitation des réseaux à terme.

Ils ont en particulier souligné leur difficulté à se projeter à ce stade sur la fourniture de nouveaux services innovants aux clients finals grand public, notamment en s'appuyant uniquement sur les meilleures performances et la plus grande flexibilité apportée par l'informatisation des réseaux.

Néanmoins, « l'ouverture des réseaux » aux développeurs d'applications est mise en avant comme une opportunité d'accroître l'innovation et de voir la naissance de nouvelles applications exploitant les fonctions du réseau.

3.1 L'informatisation des réseaux permet-elle l'émergence de nouveaux services ?

S'agissant des services futurs : les acteurs interrogés n'envisagent les cas d'usage concrets qu'en nombre limité ; par exemple la fourniture de contenu vidéo encore plus soutenue avec une meilleure qualité, et dans une certaine mesure des réflexions dans le *cloud gaming*.

Néanmoins, il n'est pas exclu qu'à l'avenir, l'informatisation des réseaux apporte de l'agilité dans leurs évolutions (mise à l'échelle rapide, nouvelles fonctionnalités des standards plus rapidement testées in situ puis déployées à large échelle, etc.). Le développement de l'informatisation des réseaux est par exemple susceptible de permettre une accélération des cycles d'innovation et potentiellement la naissance de plus en plus rapide de nouveaux usages et de nouveaux marchés.

3.2 L'ouverture des réseaux, une nouvelle source de valeur pour les réseaux ?

Selon certains acteurs interrogés, l'informatisation des réseaux pourrait permettre d'accroître le niveau d'ouverture des réseaux – concept qui semble intéresser de plus en plus d'opérateurs. Lancé il y a environ un an, notamment par Telefonica et Orange, l'*Open Gateway Project* vise à définir et à standardiser des APIs (*Application Programming Interface*) pour les opérateurs partenaires en s'appuyant sur l'initiative CAMARA¹⁸. Aujourd'hui 47 des grands opérateurs représentant 65 % des connexions mobiles mondiales ont rejoint le projet. Certains opérateurs proposent d'ores et déjà l'accès à certaines APIs aux développeurs, à titre d'exemple :

- géolocalisation au sein du réseau (Device location verification/retrieval)
- authentification au niveau réseau (SIM SWAP)
- facturation dans l'abonnement (Carrier Billing)
- interaction améliorée avec les serveurs edge (Multi-access Edge computing)

Ces nouvelles fonctions à disposition permettront l'essor de nouveaux services à valeur ajoutée comme par exemple une authentification sécurisée d'application bancaire depuis le réseau.

Il existe un intérêt fort pour les développeurs à ce que ces interfaces soient ouvertes chez tous les opérateurs d'un même marché national¹⁹, à fortiori sur plusieurs pays. En effet, la standardisation de

¹⁸ Camara : projet de développement d'interface de programmation ouverte sous l'égide de la « Linux foundation » à l'initiative des grands opérateurs et des fournisseurs d'infrastructure télécom <https://camaraproject.org/>

¹⁹ Les trois principaux opérateurs mobiles espagnols ont lancé simultanément en février dernier une offre à destination des développeurs d'application s'appuyant sur des API au standard Open Gateway

ces interfaces permet aux développeurs d'applications de proposer des solutions portables sur les réseaux de différents opérateurs et ainsi d'améliorer la rentabilité du développement d'application.

Les conditions de mise en place des interfaces elles-mêmes ainsi que de d'outils de développement communs et connus des développeurs dans des environnement standardisés (SDK²⁰) appellent à une vigilance particulière. Il conviendrait en effet d'assurer la possibilité de développement de ces applications dans des environnements ouverts et variés reposant sur des standards indépendants des solutions matérielles et logicielles mises en œuvre dans les réseaux virtualisés, et d'éviter les solutions fermées et propriétaires.

À noter que la monétisation de l'accès à ces interfaces s'oriente vers des modes divers, comme par exemple :

- La mise en place d'une marketplace d'accès aux APIs d'un ou plusieurs opérateurs en coopération ;
- L'agrégation des APIs par un intermédiaire qui achète un accès aux APIs sur un marché de gros et les revend aux développeurs via sa propre plateforme.

Ces différents schémas de marché représenteraient jusqu'à plusieurs milliards d'euros d'ici 2030 selon certains analystes.

Les retours des acteurs sur la création de nouveaux services portaient principalement sur les opportunités qui s'ouvrent sur le marché entreprise. C'est l'objet de la partie suivante.

²⁰ Software Development Kit

4 L'évolution des offres de connectivité à destination des entreprises

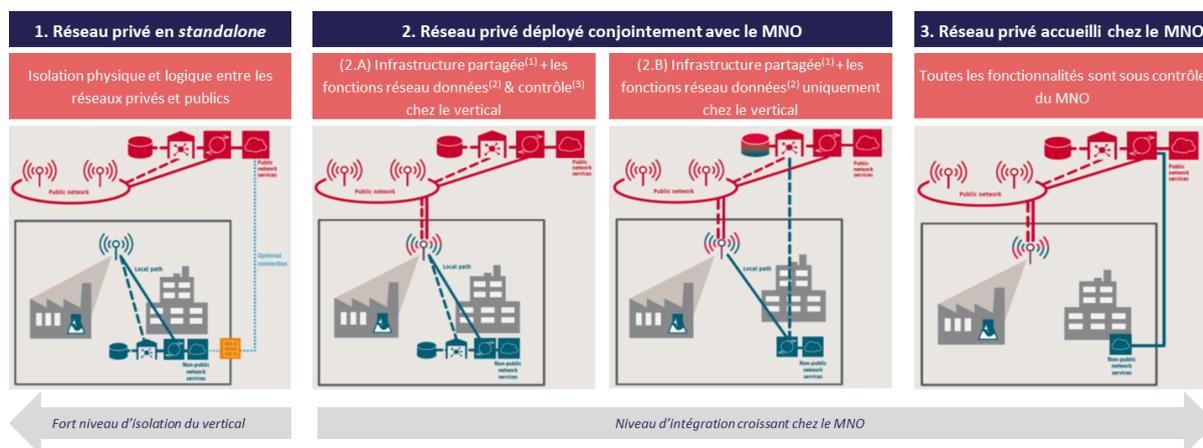
L'informatisation des télécoms contribue à alimenter plusieurs grandes tendances d'évolution des offres de connectivité à destination des entreprises :

- les réseaux mobiles, publics, privés ou hybrides, reposant notamment sur la technologie 5G, pourraient venir en appui des infrastructures industrielles et logistiques ;
- le fait que des services IT remplacent certains services historiques télécoms (par exemple : la téléphonie fixe) poussent les opérateurs à coupler offres de connectivité et services IT.

4.1 Les offres de connectivité mobile à usage professionnel

La numérisation du tissu industriel et les besoins en communications des différents « verticaux²¹ » pourraient s'appuyer de façon croissante sur des réseaux mobiles à usage privé ou professionnel. Certains réseaux privés sont d'ores et déjà déployés dans différents secteurs. Ils permettent par exemple l'amélioration de l'efficacité des chaînes de production dans les usines, l'acheminement de flux audiovisuels plus nombreux et de meilleure qualité lors d'évènements sportifs ou culturels ou encore l'amélioration de processus logistiques dans des ports.

L'information des réseaux peut faciliter le déploiement d'une pluralité de types de déploiement pour les réseaux mobiles à usage professionnel qui permet de répondre aux différents besoins des verticaux :



Le réseau à gauche est totalement autonome et répond principalement à des acteurs ayant des exigences élevées en performance, en résilience et en sécurité. Le réseau tout à droite est, quant à lui, caractérisé par une *slice*²² mise à disposition du vertical demandeur qui capitalise sur le réseau national déjà déployé.

²¹ On désigne par « verticaux », l'ensemble des entreprises du secteur privé, quel que soit leur domaine d'activité, et les structures du secteur public.

²² Il s'agit du concept introduit avec la 5G de « tranche » de réseau dont la qualité de service est gérée de bout en bout pour répondre aux exigences particulières d'un service ou d'un cas d'usage.

En effet, l'informatisation des réseaux (et notamment la nature virtualisée des architectures 5G) permet l'émergence de nouvelles configurations : des cœurs portés sur des serveurs *on-premise*²³, un réseau d'accès fondé sur des briques d'*open-ran*, des fonctions supports (tels que OSS et BSS) qui peuvent être portés sur ces mêmes serveurs. Enfin, ces offres sont également modulables : elles peuvent ainsi se constituer de différentes briques venant de fournisseurs, eux aussi, différents²⁴. En somme, de nouvelles architectures, de nouveaux acteurs et de nouveaux modèles d'affaire à destination des verticaux devraient émerger.

La diversité des usages professionnels et des niveaux d'exigence qui leur sont associés pourrait appeler une plus grande segmentation des offres de connectivité, pouvant aller jusqu'à des déploiements « sur mesure ». Dans ce contexte, un plus grand nombre d'acteurs pourraient se positionner sur le marché des solutions à destination des entreprises, en comparaison avec celui des solutions pour le grand public. Plusieurs d'entre eux se positionnent pour proposer des offres : opérateurs, acteurs du *cloud* public, intégrateurs, bureaux d'étude, équipementiers, etc. La concurrence sur la fourniture de réseaux mobiles privés apparaît, à ce stade, assez forte mais le marché reste encore émergent avec des offres qui se mettent progressivement en place, sans qu'il soit possible dès aujourd'hui d'identifier quelle sera exactement la structure de marché à terme.

Si les revenus générés par la fourniture de connectivité mobile privée ou professionnelle sont amenés à croître, il est probable qu'ils se répartissent entre des acteurs de plus en plus nombreux.

4.2 L'émergence d'offres « groupées » : des services IT intégrés aux offres de connectivité

4.2.1 Une valeur qui se déporte vers des offres groupées

Les besoins des entreprises évoluent et la connectivité est dorénavant vue comme un moyen d'accéder à des solutions d'IT qui sont hébergées dans des centres de données diversément localisés, à la fois chez les entreprises et dans les *clouds* publics.

Les opérateurs télécoms proposent de plus en plus des offres groupant services télécom et *cloud* (SaaS, e.g. Microsoft 365, du stockage en ligne etc.). Pour les plus grandes entreprises, ces offres sont très souvent personnalisées en fonction des besoins des clients. Ainsi, près de 50% des entreprises (toutes tailles confondues) souscrivent à des offres groupant des services télécoms et d'autres solutions collaborative/*cloud* et environ 30% d'entre elles estiment n'avoir pas (eu) le choix que de souscrire une offre groupée pour répondre à leurs besoins.

4.2.2 Qui propose ces offres groupées ?

Les opérateurs télécoms

Tout d'abord, comme certains services IT sont en train de remplacer des services de connectivité historiques (par exemple, les services de communications unifiées vis-à-vis des offres traditionnelles de téléphonie fixe), les opérateurs télécoms s'adaptent aux besoins des clients et se retrouvent poussés à coupler des offres de connectivité avec des services IT.

Si ces solutions semblent moins rentables que leurs services télécoms historiques, particulièrement pour les opérateurs intégrés, l'ensemble des opérateurs proposent désormais des offres groupées. Ainsi, tous les opérateurs interviewés offrent des services de stockage en ligne, souvent intégrés à d'autres services *cloud* (couches applicatives). Les opérateurs indiquent néanmoins que certaines conditions de ces offres groupées sont déterminées par le fournisseur des solutions *cloud*. Par exemple, Microsoft 365 est offert par défaut avec du stockage sur Azure (appartenant aussi à

²³ Serveurs localisés sur un des sites du vertical

²⁴ On peut noter notamment l'émergence de fournisseurs comme Casa System, Amarisoft, Mavenir.

Microsoft) : les opérateurs détenant des centres de données ne semblent pas avoir la possibilité de proposer leurs propres services de stockage ou de proposer des solutions multi-cloud.

Les opérateurs disposent de certains atouts sur le marché de la connectivité qui peuvent être une porte d'entrée pour celui des applicatifs :

- Si l'entreprise souhaite évoluer vers un réseau mobile dédié pour ses besoins métier, l'expertise radio développée au fil des années par les opérateurs nécessite du temps, et reste un élément du cœur de métier des opérateurs qui le positionne comme fournisseurs de choix IT et télécom ;
- Plus généralement, les opérateurs ont développé une certaine confiance auprès du grand public et auprès des entreprises. Cette image de marque pour la fourniture de connectivité ainsi que la proximité qui a pu être tissée avec les utilisateurs finals les place comme des interlocuteurs naturels.

Néanmoins l'informatisation croissante des réseaux pourrait rendre ces atouts assez marginaux dans le choix des entreprises pour le futur. En particulier, cette relation pourrait être remise en cause par la montée en puissance d'intégrateurs informatiques se positionnant comme partenaires stratégiques de l'entreprise pour l'ensemble de son infrastructure informatique et télécom, reléguant l'opérateur au rang de sous-traitant fournissant la connectivité.

Les acteurs du *cloud*

Les acteurs du *cloud* et notamment les *hyperscalers* sont d'ores et déjà des partenaires privilégiés des entreprises, que ce soit dans la fourniture d'offre IaaS²⁵ ou d'offres SaaS²⁶. Ce sont des acteurs déjà bien identifiés et qui proposent parfois des offres *d'edge computing* destinées aux entreprises.

De la même manière que les opérateurs élargissent leur offre en y incluant des services *cloud*, certains hyperscalers développent des offres de réseaux répondant aux usages professionnels des entreprises. Les *hyperscalers* pourraient dans ce cas se positionner comme les interlocuteurs principaux des entreprises, et fourniraient aux opérateurs l'infrastructure permettant de porter les réseaux ainsi que les applicatifs (ce qui favoriserait la mutualisation). Les opérateurs, s'appuyant alors sur l'infrastructure fournie par l'*hyperscaler*, deviendraient de simples sous-traitants de la partie connectivité de l'offre.

Les *hyperscalers* joueraient alors un rôle structurel dans la fourniture de connectivité aux entreprises, même si pour les accès fixes, la capillarité du dernier kilomètre restera chez les opérateurs, et que pour les accès mobile, l'expertise radio devrait rester une compétence davantage maîtrisée par les opérateurs.

Plusieurs positionnements sur ces marchés sont possibles pour les acteurs du *cloud* :

- se concentrer sur leur cœur de métier, et se positionner comme fournisseur de services auprès des opérateurs télécoms pour l'informatisation de leurs réseaux,
- proposer des solutions intégrant certaines briques télécoms portés sur une infrastructure IaaS sans aller jusqu'à proposer une solution télécom complète,
- se positionner comme fournisseur de connectivité aux entreprises de bout en bout directement, avec une approche NaaS²⁷.

À ce jour, tous ces modes sont commercialisés ou testés par les acteurs.

²⁵ Infrastructure as A Service

²⁶ Software as a Service

²⁷ Network As A Service

5 Conclusion

L'informatisation des réseaux est une tendance qui semble s'inscrire dans la lignée de l'évolution des réseaux : les architectures de la 5G sont de plus en plus virtualisées, le panorama d'acteurs positionnés sur la fourniture de connectivité évolue et intègre de plus en plus les acteurs de l'informatique et les opérateurs télécoms acquièrent de nouvelles compétences en intégration IT.

La fragmentation des architectures et le nombre croissant d'acteurs intervenant dans la fourniture de connectivité soulèvent des enjeux de sécurité et de résilience des réseaux. Ces aspects ont été investigués dans le cadre du cycle de réflexion « l'Arcep et les réseaux du futur » et sont synthétisés dans la note « Résilience des réseaux ».

Les échanges avec les acteurs du secteur font ressortir trois tendances structurantes qui appellent potentiellement à des actions de régulation :

- **L'informatisation des réseaux semble se réaliser par étape, avec déjà quelques enjeux majeurs liées à ces transformations, notamment en ce qui concerne l'utilisation de solutions de *cloud* public pour l'exploitation des réseaux et la fourniture de services de connectivité au grand public. Certains de ces enjeux pourraient soulever des questions de régulation, notamment le marché de l'intégration des fonctionnalités des réseaux.**
- **L'identification des services de demain pour le grand public reste incertaine : les cas d'usage ne semblent pas clairement se dessiner à ce stade. Néanmoins, l'ouverture des API du réseau pourrait permettre l'éclosion de nouveaux usages et de nouveaux services. Une vigilance sur le fonctionnement des futurs marchés d'accès aux API pourrait alors s'avérer nécessaire.**
- **Les offres de solutions de connectivité à destination des entreprises pourraient en revanche bénéficier plus directement des retombées de l'informatisation des réseaux. Ce marché pourrait connaître des évolutions profondes. D'une part, certains services IT vont remplacer des services télécoms historiques, conduisant à une combinaison des offres de solutions logicielles et de connectivité (facilitée par le *cloud* et la virtualisation). D'autre part, des offres de solutions de connectivité sans fil « sur mesure » devraient émerger en réponse aux besoins des verticaux. L'informatisation des réseaux pourrait générer de l'innovation avec beaucoup d'acteurs, aux atouts divers, sans évidence à ce stade sur les structures de marché qui pourraient en résulter.**

Par ailleurs, au-delà des innovations de l'IA qui pourraient se retrouver au sein même de la gestion des réseaux (en améliorant la maintenance prédictive, l'allocations des ressources radio entre les différents utilisateurs, l'amélioration de l'acheminement des flux, etc.) et auxquelles la note « L'intelligence artificielle dans les réseaux de télécommunications » de janvier 2020 faisait référence, l'IA pourrait peut-être permettre l'éclosion de nouveaux services. En effet, l'apport de l'IA générative, notamment celle dédiée aux communautés de développeurs, est devenu rapidement un outil d'accélération de la prise en main des outils de développement par les développeurs d'applications tant elle est en capacité de répondre à des demandes précises sur le fonctionnement des environnements de développement, jusqu'à même générer automatiquement des lignes de code fonctionnelles (à partir d'un *prompt* d'IA générative, il est possible d'avoir accès à des fonctionnalités déjà codées par la « communauté des développeurs »).

Les innovations qui seront permises par l'IA et les synergies qui pourraient exister avec les réseaux du futur seraient donc de nature à bouleverser assez radicalement le secteur de la connectivité :

- en facilitant l'agilité de l'organisation des opérateurs (notamment en facilitant la montée en compétence du personnel grâce à la mise en place d'outils conversationnels alimentés par l'IA, ce qui rend les équipes plus agiles) pour intégrer plus efficacement les gains à attendre liés à l'informatisation de leur réseau ;

- en améliorant le fonctionnement des réseaux et l'optimisation de leur architecture ;
- en sollicitant beaucoup plus la connectivité pour accéder à différents types d'IA positionnées plus ou moins profondément dans les réseaux ou au-delà (cette sollicitation porte sur la charge que les entrées d'inférence d'IA (*prompt*, images..) peuvent faire porter sur les réseaux, et sur les performances réseaux particulières que peuvent nécessiter ces sollicitation : faible latence, forte résilience, (de type *edge computing* par exemple) ;
- en permettant l'essor plus rapide de nouveaux services.

Les enjeux de sécurité des réseaux se déplacent également au niveau des différentes couches alimentées par de l'IA. Les couches applicatives alimentées en IA devront potentiellement intégrer les exigences de sécurité auxquelles doivent déjà répondre les réseaux. Par ailleurs, les briques d'IA qui vont se retrouver dans les réseaux seront également soumises à ces mêmes exigences de sécurité.

Ces aspects ont vocation à être approfondis dans le cadre d'une prochaine note. La question se pose de savoir si la conjonction de l'informatisation des réseaux en cours et l'avènement d'une IA plus précise et abordable, est à même de bouleverser le paysage des applications qui s'appuient sur la connectivité et au-delà, les « réseaux du futur » eux-mêmes.

Annexe

Entretiens

Un cycle d'entretien a nourri notre réflexion sur la virtualisation des réseaux. Pour autant, les positions prises dans cette note ne reflètent pas nécessairement les points de vue des personnes auditionnées ni des institutions auxquelles elles appartiennent.

Ont notamment été reçus en entretien :

- Association Française du Jeu Vidéo
- Airspan
- ANSSI
- AWS
- Bouygues Télécom
- Cap Gemini
- CEA Leti
- Cellnex
- CNRS
- Dell
- DGNUM
- Ericsson
- Google
- Huawei
- Iliad
- Mavenir
- Nokia
- Orange
- SFR
- VMWare
- Vonage

Références bibliographiques :

1. **Broadband Networks of the Future**, OECD publishing, Juillet 2022 (<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/755e2d0c-en.pdf?expires=1711622330&id=id&accname=guest&checksum=F4D67A1DE48C8B04E2E4B05A2A13ADD9>)
2. **Study on the trends and cloudification, virtualization, and softwarization in telecommunications**, rapport préparé par PLUM Consulting et Stratix pour le Berec, Décembre 2023 (<https://www.berec.europa.eu/system/files/2023-12/BoR%20%2823%29%20208%20Study%20cloudification%20virtualisation%20and%20softwarisation.pdf>)
3. **Implications of the emerging technologies Software-Defined Networking and Network Function Virtualisation on the future Telecommunications Landscape**, étude de la commission européenne, janvier 2016 (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/implications-emerging-technologies-software-defined-networking-and-network-function-virtualisation>)
4. **Réseaux télécoms dans le cloud, un net avantage**, Capgemini research institute, 2023 (<https://prod.ucwe.capgemini.com/wp-content/uploads/2023/02/Final-Web-Version-Report-Cloudification-of-Networks.pdf>)
5. **Study on Communication Services for Businesses in Europe: Status Quo and Future Trends**, Rapport du BEREC, Décembre 2022 (https://www.berec.europa.eu/system/files/2022-12/BoR%20%2822%29%20184%20External%20Study%20on%20Communication%20Services%20for%20Businesses%20in%20Europe%20Status%20Quo%20and%20Future%20Trends_0.pdf)
6. **Representative use cases and key network requirements for Network 2030**, rapport technique ITU-T, Janvier 2020 (https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/fg/T-FG-NET2030-2020-SUB.G1-PDF-E.pdf)
7. **Ofcom's future approach to mobile markets**, discussion paper de l'Ofcom, Février 2022, (https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0027/231876/mobile-strategy-discussion.pdf)